

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Giovanni Pardo Chamorro¹, Heiner Toro²

¹Tecnología en mecánica industrial, Universidad ECCI

Bogotá DC

Giopardo29@gmail.com

²Tecnología en mecánica industrial, Universidad ECCI

Bogotá DC

Hatv_20@hotmail.com

RESUMEN

En el siguiente trabajo realizaremos un estudio de los protocolos más usados y encontrados en la industria, se hará un repaso por su historia y revisaremos sus características técnicas más importantes, después se seleccionara dos de estos para realizar un comparativo más profundo.

PALABRAS CLAVES: Automatización, Bus, Comunicación, Industria, Protocolos, Redes

ABSTRACT

In the following work we will realize a study of the protocols most secondhand and found in the industry, a revision will be done by his history and we will check his more important technical characteristics, later there were selected two of these to realize a deeper comparative.

KEYWORDS: Automation, Bus, Communication, Industry, Protocols, networks.

1. INTRODUCCION

Los sistemas de comunicación industrial son un mecanismo de transmisión de datos o información entre los diferentes niveles de la pirámide de automatización necesarios para llevar a cabo tareas de control y gestión en un proceso, se puede entender como protocolo como el convenio o conjunto de reglas que permite el intercambio de información entre diferentes dispositivos que componen una red industrial por ejemplo actuadores, HMI, variadores de velocidad, sensores etc., en otras palabras se podría decir que es el lenguaje usado para la comunicación entre dispositivos.

2. MARCO TEORICO

La historia de los protocolos de comunicación se remonta a 1968 cuando la empresa Bedford Associates invento el **modicon 084** (Modular Digital Controller) [1] debido a las necesidades de automatización en la industria, el cual se convertiría en el primer PLC producido y comercializado de la historia. Pero no fue hasta el año de 1979 que apareció el primer sistema de comunicación entre PLCs llamado **Modbus** que fue introducido por **modicon** hoy en día conocida como Schneider Electric [2]. **Modbus** tiene dos modos de funcionamiento ASCII y RTU en los cuales se podía enviar hasta dos Bytes con una diferencia de tiempo de un segundo (1 Sg) entre ellos y 4 caracteres de 4 bits cada uno [3] respectivamente.

En este artículo nos centraremos en el estudio de los protocolos con mayor difusión actualmente en la industria, el cual realizaremos por orden jerárquico desde el nivel más bajo de la pirámide CIM “nivel actuador-sensor” hasta el nivel más alto “nivel de gestión”, los cuales podemos apreciar con mejor claridad en la figura 1.

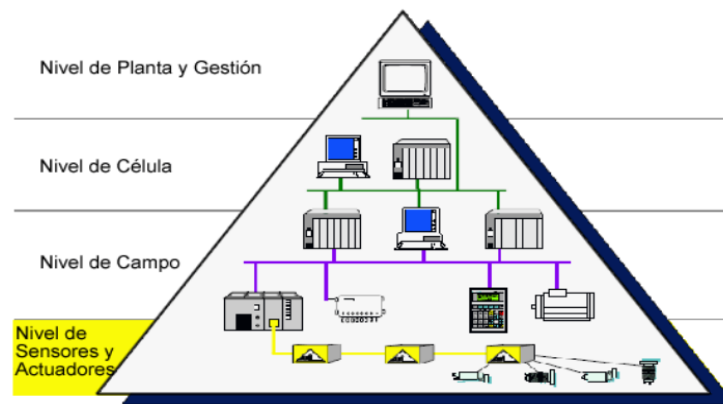


Figura 1. Pirámide de automatización CIM [4]

En la figura 2 observamos los protocolos usados por Siemens y Rockwell empresas líderes de distribución en Europa y américa respectivamente.

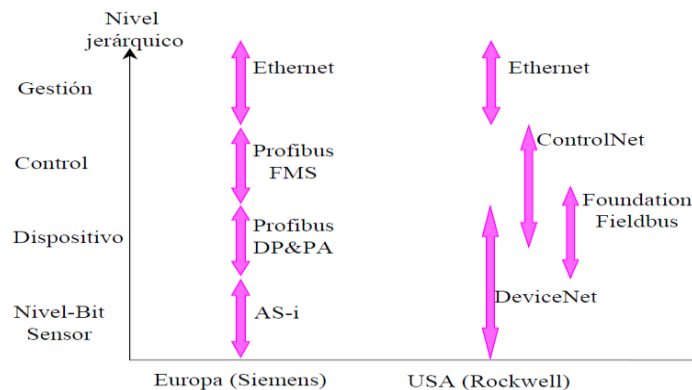


Figura 2. Niveles jerárquicos de los protocolos de comunicación industrial [5]

Antes de adentrarnos directamente en el tema hablaremos un poco sobre topologías de red las cuales son básicamente la estructura física que puede tomar una red de comunicación, algunas de estas son:

- Topología de bus, es la forma más sencilla de conectar una red, esta consiste en conectar todos los equipos mediante cable a una misma línea de transmisión. Figura 3

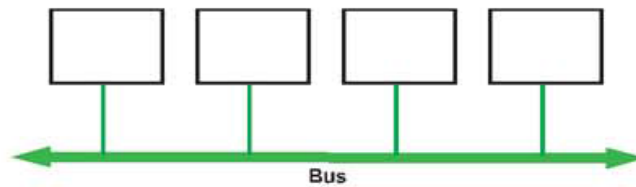


Figura 3. Topología tipo Bus [1]

- Topología de estrella, consiste en conectar los dispositivos a un equipo conmutador o repetidor el cual retransmite los datos recibidos. Figura 4

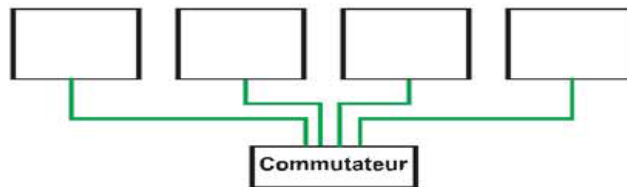


Figura 4. Topología tipo estrella [1]

- Topología de anillo, consiste en conectar varios dispositivos en forma de anillo con un mismo cable por el cual la información pasa en una dirección ya sea sentido horario o antihorario. Figura 5

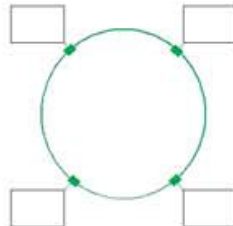


Figura 5. Topología tipo anillo [1]

- Topología tipo árbol, prácticamente es tener varias tipo estrella conectadas entre sí, con la diferencia que no se encuentran conectadas a un equipo, en su lugar se tiene un nodo central del cual se ramifican las demás. Figura 6

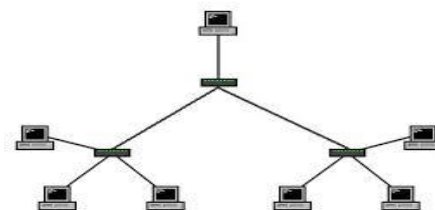


Figura 6. Topología tipo árbol [6]

Estas son algunas de las TOPOLOGIAS más usadas en las redes de comunicación industrial y las podemos encontrar en los diferentes niveles de la pirámide CIM.

3. NIVELES DE LA PIRAMIDE DE AUTOMATIZACION CIM

La pirámide de automatización CIM por sus siglas en ingles es: “Computer Integrated Manufacturing”, que traduce fabricación integrada por computador. La pirámide nace por la necesidad de integrar los procesos de producción (diseño, ingeniería y fabricación) con los demás sistemas de gestión de una empresa, CIM intenta resumir de manera gráfica la estructura de los sistemas de comunicación en el entorno productivo y se divide en niveles de acuerdo con el tráfico y tipo de información que intercambia. Es decir explica en qué parte de los procesos de una empresa interviene cada protocolo de comunicación.

3.1. Nivel Actuator – Sensor

Es el nivel más bajo de la pirámide, algunos de los estándares de comunicación que aquí encontramos son: AS-i, DeviceNet, HART, estos son llamados también redes de control o buses de campo y buscan comunicar dispositivos como sensores, actuadores, transductores etc. Entre sí. Los buses de datos resuelven los problemas de comunicación en los niveles inferiores de la pirámide. Algunas ventajas de estos son el gran ahorro de cableado, en costos de instalación y mantenimiento y mejoran la eficiencia del sistema.

3.1.1. AS-i interface (AS-i)

En los años 90 con el crecimiento de los sistemas de automatización en las industrias, aumentaba consigo su complejidad y por ende el costo de cableado, un consorcio de 11 empresas [7] entre estas Siemens AG [8] crearon el protocolo AS-i reemplazando así al sistema de mazo de cables simplificando el costo y la complejidad en la instalación de cableado.

En 1992 se crea la AS-International Association con el fin de difundir, brindar soporte técnico y normalizar AS-i [4].

La red AS-i cuenta con 3 versiones la primera es la 2.04 de 1994 su versión original, se encontraba limitada a un máximo de 31 esclavos, la versión 2.14 de 1998 en la cual se aumenta el número de esclavos a 62 y la versión 3.0 de 2005 en el cual se mejora la comunicación con Ethernet [9].

En la Figura 7 podemos ver los componentes del protocolo AS-i:

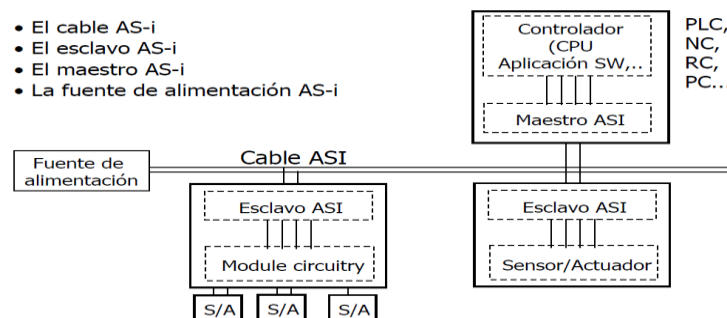


Figura 7 Componentes de una red AS-i [10]

Maestro AS-i, es el encargado de la comunicación con el PLC suministrando información de la red, también se encargar de supervisar la red y enviar parámetros de configuración. El maestro AS-i realiza todas sus tareas de forma automática [7].

Esclavos AS-i, nos permite hacer una conexión entre el sistema de transmisión y los dispositivos de E/S, alimentándolos y generando una conexión con el maestro [9].

Cable, el cable estándar para la red AS-i es un cable amarillo plano (Figura 8), más sin embargo puede utilizarse cualquier cable bifilar de 2 x 1.5mm², este se encarga de enviar información a toda la red y de alimentar los sensores que estén conectados. Suele utilizarse un cable negro plano alimentación auxiliar de 24v DC y uno rojo plano para 240V AC.



Figura 8 Perfil del cable AS-i [11]

Fuente de alimentación, se encarga de suministrar entre 29,5 y 31,6V DC y modular la tensión continua en la red, además de permitir la transmisión de datos en esta [9].

Algunas características de AS-i son:

- Compatibilidad entre sensores y actuadores de diferentes fabricantes [9].
- Velocidad de transferencia de datos 167 Kbits/s [4].
- Se adapta a cualquier tipo de topología [9].
- Su alcance de la red es de 100m ampliable con repetidores hasta a 300m [9].
- Posibilidad de conectar hasta 124 sensores y 124 actuadores con módulos estándar y hasta 248 sensores y 186 actuadores con módulos extendidos [4].
- Temperatura de funcionamiento esta entre -25°C y +85°C [4].
- Transferencia de datos analógica y digital de 16bits [12].
- Bajo costo [9]

3.1.2 DeviceNet

Desarrollado por Rockwell automation en el año de 1994 [13], es un bus de campo económico el cual permite reducir el costo del cableado de componentes y mejora sus funciones de diagnóstico está orientado a los niveles medio-bajo de la automatización, está basado en el sistema CAN desarrollado por Bosch en 1986 [13]. DeviceNet permite 3 modelos de conexión los cuales son maestro/esclavo, entre pares y productor/consumidor [14], con este último se aprovecha mejor el ancho de banda ya que cualquier nodo de la red puede enviar información y esta puede ser recibida por los demás nodos de forma simultánea.

En la Figura 12 podemos observar un ejemplo de una red DeviceNet.

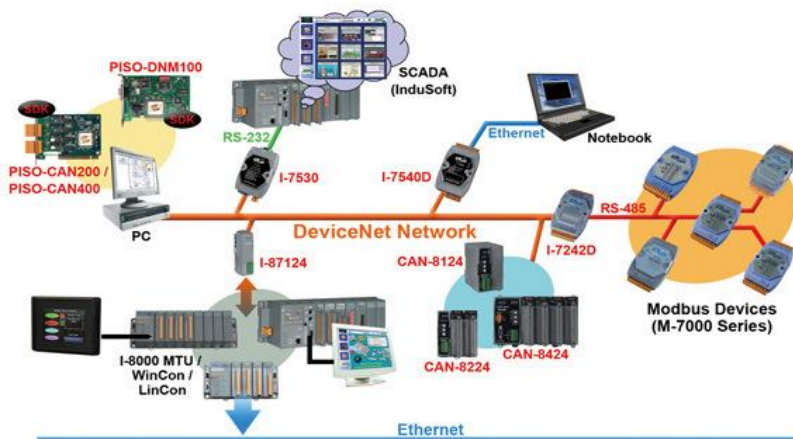


Figura 12, red industrial DeviceNet [15]

En 1995 se crea la OVDA (Open DeviceNet Vendor Association) que es una fundación sin ánimo de lucro la cual tiene como finalidad la difusión y normalización de DeviceNet, actualmente más de 300 empresas son miembros de esta organización [13].

Este protocolo maneja dos tipos principales de mensajes que son cíclico y explícito, en el primero se transporta información sobre los sensores y actuadores y están relacionados con el control la cual es intercambiada periódicamente entre el dispositivo y el controlador. En el segundo se transportan datos relacionados con el diagnóstico y configuración del dispositivo [13].

Las características más importantes son:

- Soporta hasta 64 nodos[13]
- Alta capacidad de corriente en la red hasta 16A [13]
- Velocidades de transmisión entre 125 y 500 Kbit/s [13]
- Alcance de red entre 100m y 500m y hasta 6km con repetidores [14].
- Fácil mantenimiento [14]
- Usa la misma energía de la fuente de alimentación [13]
- Voltaje de alimentación 24V DC [13]
- Tamaño máximo de mensaje para cada nodo 8 bytes. []
- Bajo costo [14].

3.1.3 HART (Highway Addressable Remote Transducer)

Creado a finales de los 80 [16], HART usa el estándar Bell 202 modulación por cambios de frecuencia [17] y es uno de los estándares líderes en la industrial de comunicación con dispositivos de campo. Su señal usa 2 frecuencias 1200 y 2200Hz que representan los Bits 1 y 0 respectivamente, estas frecuencias se superponen a la señal de corriente analógica de 4-20 mA de esta manera se transportan señales análogas y digitales [17] como se puede observar en la figura 13.

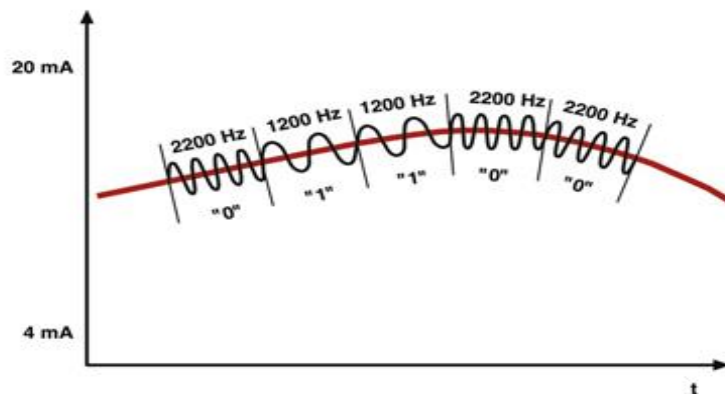


Figura 13. Representación de los Bits 1 y 0 y la Variación de frecuencias [18]

En los años 90 se crea HART Communication Foundation, con la finalidad de proveer soporte para el protocolo HART, esta fundación maneja los estándares y derechos del mismo [17].

WirelessHART es la red inalámbrica de HART es de fácil implementación, con una puesta en marcha rápida y ahorro en el costo de cableados, es una buena opción para industrias bastante densas y de condiciones cambiantes. Trabaja en la banda de frecuencia 2.4GHz la cual no requiere licencia y permite la actualización a bajo costo de equipos de campo ya existentes [19].

3.2 Nivel De Campo

Este nivel es el encargado de comunicar dispositivos de control y mando con dispositivos E/S así como gestionar sus funciones [20].

3.2.1. PROFIBUS

En el año de 1987 un grupo de empresas alemanas desarrollan un proyecto con el fin crear un medio que permitiera la interacción entre de equipos de varios fabricantes de este modo nace Profibus, en 1990 se da la posibilidad para que usuarios o empresas hagan parte de este consorcio. Profibus ofrece soluciones para aplicaciones discretas y procesos de automatización [21]. En la Figura 14 y 15 podemos observar la interacción entre Profibus DA y DP y un ejemplo de una red de comunicación Profibus.

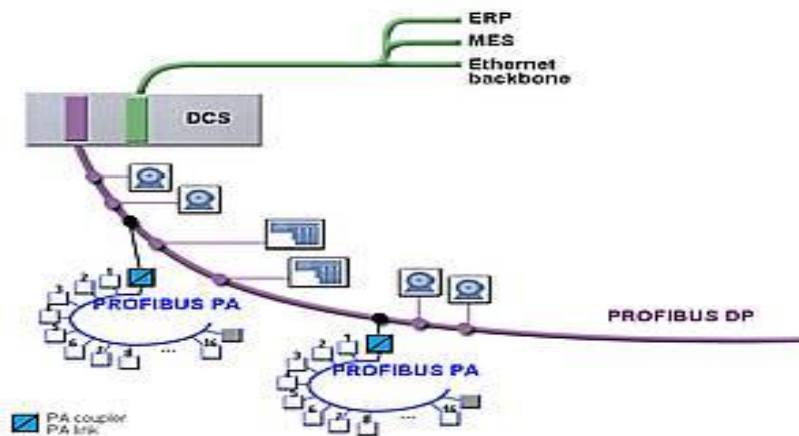


Figura 14. Interacción de Profibus DP y DA en una red [22]

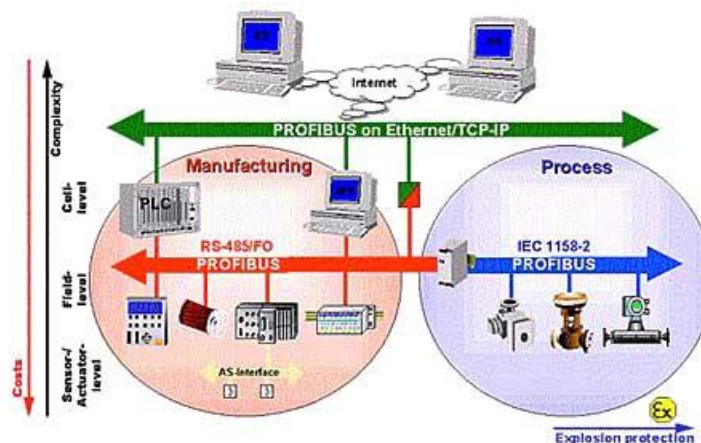


Figura 15. Diagrama de comunicaciones de la red Profibus [23]

3.2.1.1. Profibus DP (Decentralized Peripherals)

Está diseñado especialmente para comunicar los sistemas de automatización y dispositivos de E/S, maneja velocidades bastante altas transmitiendo hasta 1kByte de datos en menos 2 ms a una velocidad de 12Mbit/s, permite la conexión de hasta 126 dispositivos de E/S y reduce los costos en el cableado. Substituye la tecnología 4 a 20 mA y Hart [23].

Profibus DP y FMS se pueden utilizar simultáneamente en un mismo cable ya que usan la misma tecnología de transmisión y acceso al bus [21].

3.2.1.2. Profibus DA (Process Automation)

Profibus DA o PA sus siglas en español es usado para la automatización de procesos y destinado a reemplazar la tecnología de transmisión de 4 a 20 mA, permite la conexión de hasta 32 dispositivos con velocidades de transmisión de 31.5Kbits/s y un alcance de 1900m ampliable hasta a 10Km con repetidores [23].

4.2.2 Foundation Fieldbus

Es una organización formada a finales del año 1994 cuando The Interoperable Systems Project (ISP) y WorldFIP North América se fusionan [24], **Foundation Fieldbus** es un protocolo de comunicación de datos digitales el cual reemplaza la transmisión analógica de 4- 20 mA [25] y presenta dos versiones la cuales son:

H1: el cual está dirigido a la conexión entre equipos de campo y puede transportar grandes cantidades de información a velocidades de 31.5Kbit/S. trabaja en el mismo nivel que Profibus DA [26].

HSE (High Speed Ethernet): conecta sistemas de alta velocidad como sistemas HOST, servidores de datos, dispositivos que utilicen cableado de Ethernet estándar, etc. Trabaja velocidades de 100Mbit/s [27].

3.3. Nivel De Célula O Control

Desde este nivel se emiten órdenes de ejecución al nivel de campo y recibe información de este nivel [20], en este nivel se sitúan autómatas de alta gama.

3.3.1 Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)

Diseñado para comunicaciones en el nivel de célula o control entre dispositivos inteligentes como HMI, PLCs, PCS etc..., es una comunicación de propósito general [8] y tiene como función la supervisión, transmisión de grandes volúmenes de datos, comunicaciones multi-maestro y maestro esclavo [23]. Es parte de la familia Profibus

3.3.2 ControlNet

Es una red de alta velocidad que trabaja en tiempo real, se dio a conocer en el año de 1995 por Allen-Bradley [26] es adecuada para aplicaciones discretas y de control, tiene la ventaja con respecto a otras redes de permitir un solo **maestro** en una red. ControlNet usa el modelo Productor/consumidor [27] lo que mejora el aprovechamiento de la red.

ControlNet puede transmitir hasta 510 bytes de información a una velocidad de 5Mbit/s con un alcance aproximado de 1Km, permite la conexión de un máximo de 99 nodos y puede ser transmitido a través de fibra óptica o un cable coaxial [27].

3.4. Nivel De Planta Y Gestión

Es el nivel más elevado de la planta y aquí se integran los niveles inferiores de la pirámide CIM [8].

3.4.1. ETHERNET

Nace en los años setenta en Xerox Parc una compañía dedicada a la investigación y desarrollo, años más tarde gracias a ISO, Ethernet se convertiría en un estándar internacional [1]. Actualmente el protocolo Ethernet es el más usado en los niveles superiores de la pirámide de automatización ya que ofrece altas velocidades de transmisión de datos, es de fácil instalación y mantenimiento y a un bajo costo. Ethernet ha sido adoptado por otros protocolos como Profibus, Modbus etc. e incluido en los niveles bajos de la pirámide CIM [26].

Ethernet maneja velocidades de 10/100/1000 Mbit/s y puede ser transmitido por medios eléctricos, ópticos o inalámbricos con alcances máximos de hasta 1.5Km y 4,3Km, soporta hasta 1024 terminales y admite varios tipos de topología como árbol, estrella, etc. [29].

4. COMPARATIVA ENTRE PROFIBUS Y DEVICENET

En la tabla se puede ver la comparativa entre dos protocolos de comunicación en el mismo nivel de automatización CIM y de diferentes fabricantes. Tenemos el protocolo DeviceNet que se la estadounidense Rock Wall y el Profibus de la europea Siemens. Siendo incompatible la interacción entre estos.

Tabla 1. Comparativa entre los protocolos Profibus y DeviceNet

	Profibus	DeviceNet
Estandar	DIN 19245, EN13321/1, (FMS), EN 50254/2, IEC, 61158 Type 3, SEMI E54,8 (DP)	ISO 11898
Variante	DP, DA y FMS	
Tipo de Cable	2 hilos	4 hilos
Tipo de Topología	bus ,estrella y anillo	bus
Alcance máximo	10k con repetidores	6km con repetidores
Velocidad de trasferencia	31,25 kbit/s (DP), 12 Mbit/s (DA) y 500 kbits/s (FMS)	125- 500 kbit/s
Número Máximo de Dispositivos	126 (DP), 32 (DA) 126(FMS)	64 nodos
Tipos de Comunicación entre Nodos	Maestro/esclavo, Peer to Peer	Maestro/esclavo, multimaestro y Peer to Peer

La norma DIN o Instituto Alemán de Normalización tiene como objetivo desarrollar normas con valides en todo el mundo. Y de este modo eliminar barreras técnicas [30].

El estándar ISO 11898 es la definición del protocolo de comunicación CAN (Controller Area Network) de la capa física para velocidades de transmisión de hasta un megabit por segundo (1 Mbit/s), desarrollado por la empresa BOSCH originalmente en 1984 [31].

5. PROYECTOS I+D+I CON PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Se escogió el protocolo HART (Highway Addressable Remote Transducer) por sus siglas en inglés y que al español es “transductor remoto direccionable”, gracias a que es el protocolo con el cual se están llevando a cabo un gran número de investigaciones y estudios con el fin de buscar nuevas áreas o procesos en general donde se pueda implementar, toda esta información es de gran utilidad y contribuye a la mejora de los procesos de automatización.

Se encontró un artículo que habla sobre la implementación de una red inalámbrica HART en un simulador NS-2. NS (Network Simulator) permite la simulación entre múltiples tipos de redes ya sean cableadas, inalámbricas y/o por satélite, es utilizado de manera educativa en investigaciones [32].

Al implementar este tipo de red inalámbrica HART en los simuladores NS-2 se obtiene información que sirve como referencia para la evaluación de otros tipos de protocolos en la parte que corresponde a vigilancia y control de los procesos industriales permitiendo que de la misma manera este protocolo sea cada vez mejor y más fácil. Además ofrece una alternativa a los bancos de pruebas costosos para probar y evaluar.

El artículo habla también, como es la primera aplicación que ayuda al gestor de la red WirelessHART. Para hacer la valides de la información durante toda la investigación se hizo olfateo a tráfico procedente de un banco de pruebas real WirelessHART instalado en la planta Idrolab ubicada en Cesena, Italia. Este análisis empírico muestra que los resultados simulados son casi comparables a los resultados obtenidos a partir de las redes reales.

También demuestran la versatilidad y uso de esta implementación proporcionando algunos resultados de las evaluaciones adicionales en diversos escenarios. Por ejemplo, se evalúa el desempeño de la red WirelessHART aplicando interferencias incrementales en una red multi-hop [32].

Un segundo artículo habla sobre adaptadores inalámbricos Gateway DTM basados en el protocolo ISA-SP 100 que a la vez de apoya en los protocolos HART y Modbus. El Gateway DTM utiliza tecnología FDT. Para contextualizar que es FDT/DTM se puede decir que integra las interfaces entre los sistemas de diseño/ingeniería denominados Field Device Tools (FDT), y el componente de software del dispositivo llamado Device Type Managers (DTM), son sistemas abiertos de fácil acceso a configuración, monitoreo y mantenimiento de los dispositivos, además no está limitada a aplicaciones PROFIBUS.

Al implementar Gateway DTM permite el uso de DTMs convencionales con todas las características ya mencionadas, en dispositivos que admitan varios protocolos. De tal modo, son capaces de apoyar la variedad de dispositivo que es configurable a través del aire ya que HART es básicamente una red Wireless y se utiliza para la gestión de activos y diagnósticos futuros. [33]

Un tercer artículo trata sobre la búsqueda para adaptar el protocolo HART en un sistema de sensores basados en arquitectura ARM. ARM es el conjunto de instrucciones de 32 bits más ampliamente utilizado, su relativa simplicidad los hace ideales para aplicaciones de baja potencia [34].

Básicamente se implementa el protocolo HART en el sistema de sensores por ser práctico y económico. El artículo habla sobre la descripción precisa de los procedimientos para dicha implementación y tiene un esquema que incluye el diseño del módulo ARM, y que de acuerdo a los resultados finales en la red de bus de campo, se muestra que esta operación es estable, precisa, simple y fácil [34].

5. CONCLUSIONES

Se observa la importancia de los protocolos de comunicación industrial en la automatización de cualquier proceso, ya que nos brindan un ahorro en la instalación del cableado y mejoran la comunicación entre dispositivos y los diferentes niveles de la pirámide de automatización CIM de este modo mejorando la estabilidad y productividad.

A través de los años se han formado múltiples organizaciones para cada protocolo destinadas a impulsar y establecer normas de este, más sin embargo no existe un estándar general que nos permita o combinar protocolos y dispositivos de diferentes fabricantes. Por eso es muy importante a la hora de automatizar un proceso escoger de forma adecuada un distribuidor o marca de manera que más adelante no tengamos problemas en la comunicación entre dispositivos. Este caso se podría presentar si por ejemplo intentamos combinar productos Siemens y Rockwell.

Con el paso del tiempo y la evolución de la tecnología las redes inalámbricas han tomado fuerza en los sistemas de comunicación, hoy en día las redes inalámbricas son una buena opción para transmitir información en industrias de gran tamaño y con poco espacio para el cableado, además de representar un ahorro en su implementación son redes bastante seguras y con gran capacidad para transmitir datos a grandes velocidades.

La realización de este artículo nos permitió aprender sobre los protocolos de comunicación y su importancia en una empresa o proceso industrial automatizado, además de poder identificar las características más importantes, los de mayor uso y sus diferentes niveles de aplicación dentro de la pirámide CIM.

6. REFERENCIAS

- [1] Schneider Electric Modicon History – online
http://www.plcdev.com/schneider_electric_modicon_history, 2015
- [2] Capitulo 9 Redes Industriales – online
<Http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/guia-soluciones-aut/guia-soluciones-aut-capitulo9.pdf>, 2015
- [3] Universidad de valencia, Tema 3. Redes de Comunicación Industrial – online
Http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf, 2015
- [4] Javier Barragán Piña, Bus de Sensores y Actuadores AS-interface - online
<Http://www.uhu.es/antonio.barragan/content/caracteristicas-principales>, 2015
- [5] Introducción a las Redes de Comunicaciones Industriales – online
http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas/Fundamentos%20de%20Automatizaci%F3n%20Industrial/Comunicaciones%20y%20Supervisi%F3n/Introducci%F3n%20a%20las%20Comunicaciones%20Industriales.pdf, 2015
- [6] Red De Árbol – online
<Http://katiavi.blogia.com/2008/050901-red-de-arbol.php>, 2015
- [7] Virgilio Vásquez López, Bus De Comunicación Industrial As-i – online
<Http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/as-interface.htm>, 2015
- [8] Universidad de Oviedo, Comunicaciones Industriales – online
<Http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf>, 2015
- [9] Tutorial sobre la Tecnología AS-i – online
<Http://www.smar.com/espanol/asi>, 2015
- [10] Bus As-I – online
http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas/Tecnolog%EDas%20de%20Control/Teor%EDa/04%20-%20ASi.pdf, 2015
- [11] Parmley Graham - online
<Http://www.parmley-graham.co.uk/3rx9010-0aa00>, 2015
- [12] Siemens, AS-Interface – online
<http://www.automation.siemens.com/cd-static/material/info/e20001-a550-p305-v4-7800.pdf>, 2015

- [13] Tutorial DeviceNet – online
[Http://www.smar.com/espanol/devicenat](http://www.smar.com/espanol/devicenat), 2015
- [14] Patricio Gómez, DeviceNet – online
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=117&tip=7>, 2015
- [15] Protocolos De Comunicación De Redes – online
[Http://gonzaloapa13.wordpress.com/2014/09/26/protocolos-de-comunicacion-de-redes/](http://gonzaloapa13.wordpress.com/2014/09/26/protocolos-de-comunicacion-de-redes/), 2015
- [16] Kurt Meichsner, El Protocolo HART - online
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=95>, 2015
- [17] Cómo funciona HART – online
[Http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_how.html](http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_how.html), 2015
- [18] Generalidades sobre protocolos de comunicación industrial – online
[Http://www.electromatica.cl/protocolos.html](http://www.electromatica.cl/protocolos.html), 2015
- [19] Perspectiva general de WirelessHART - online
[Http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/wihart/wireless_overview.html](http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/wihart/wireless_overview.html), 2015
- [20] C. Salazar, L.correa, Buses de campo y protocolos en redes industriales – online
<http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/viewFile/126/184>, 2015
- [21] Profibús Teoría De Funcionamiento - online
[Http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteoria.pdf](http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteoria.pdf), 2015
- [22] Un bus de campo: Cobertura total – online
<http://www.profibus.com/pi-organization/regional-pi-associations/spain/tecnologia/profibus/vision-general/>, 2015
- [23] Que es Profibus? - online
<http://www.smar.com/espanol/profibus>, 2015
- [24] History - online
http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=136&Itemid=307#origins, 2015
- [25] Ing. Guillermo T. Muñoz, Tutorial de FieldBus – online
[Http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/electronica/Setiemb_1998/Pdf/04_tut.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/electronica/Setiemb_1998/Pdf/04_tut.pdf), 2015
- [26] M. Chavez, E. Villa, Estudio del protocoloFieldbus y aplicación practica con el controlador Smart DF51 para el manejo de instrumentos industriales, 2009 - online
[Http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/523/1/digital_17957.pdf](http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/523/1/digital_17957.pdf), 2015
- [27] Introducción a Foundation Fieldbus - online
http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EngSch-Fieldbus_101_es.pdf, 2015

[28] José Carlos Villajulca, Redes ControlNet y MODBUS PLUS y resumen de redes – online
<http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-redes-industriales/item/283-redes-controlnet-y-modbus-plus-y-resumen-de-redes.html>, 2015

[29] Industrial Ethernet – online
http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas/Laboratorio%20de%20Comunicaciones%20Industriales/Documentaci%F3n/04%20-%20Industrial%20Ethernet.pdf, 2015

[30] DIN in the World – online
<http://www.din.de/cmd?level=tpl-bereich&menuid=47565&languageid=en&cmsareaid=47565>, 2015

[31] ISO 11898 – online
<http://www.iso.org/>, 2015

[32] Implementación de WirelessHART en el NS-2 simulador y validación de su corrección, 2014 - online
<http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84900857493&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=protocol+hart&sid=DDF1FF915B4A8D8DDD96109303A7F91B.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a20&sot=b&sdt=b&sl=28&s=TITLE-ABS-KEY%28protocol+hart%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28protocol+hart%29>, 2015

[33] Gateway DTM para el adaptador inalámbrico ISA100.11a el apoyo de protocolo HART y Modbus, 2014 – online
<http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84911912840&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=protocol+hart&sid=DDF1FF915B4A8D8DDD96109303A7F91B.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a20&sot=b&sdt=b&sl=28&s=TITLE-ABS-KEY%28protocol+hart%29&relpos=1&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28protocol+hart%29>, 2015

[34] la búsqueda de un sistema de sensores HART basado en ARM, 2014 – 2015
<http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84906503453&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=protocol+hart&sid=DDF1FF915B4A8D8DDD96109303A7F91B.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a20&sot=b&sdt=b&sl=28&s=TITLE-ABS-KEY%28protocol+hart%29&relpos=2&relpos=2&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28protocol+hart%29>, 2015 .